

В.В. Соловьев

ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОЛУНОК, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

В статье проведен морфологический анализ микролунок, полученных электроискровым легированием. Для оценки размера микролунки используется коэффициент формы микролунки. Наблюдается взаимосвязь между параметром микролунки и межэлектродным промежутком.

Ключевые слова: микролунка, электроискровое легирование, морфологический анализ.

FORMATION MICROWELL RECEIVED SPARK ALLOYING

In the article the morphological analysis of microwells received spark alloying. To estimate the size of the form factor used microwell. There is a relationship between the parameter and the microwell interelectrode gap.

Key words: microwell, spark alloying, morphological analysis.

Введение

Электроискровое легирование (ЭИЛ) является одним из направлений развития упрочняющих и ресурсосберегающих технологий. Однако использование этого метода затруднено недостаточностью информации о процессах, происходящих при формировании покрытия. В основе метода ЭИЛ лежит импульсное воздействие электрических разрядов на токопроводящие материалы катода и анода, приводящих к формированию на обоих электродах микролунок [1]. Формирование поверхности представляет сложный процесс переноса эрозионной массы и, следовательно, привлекает внимание многих исследователей [1, 3].

Материалы и методика исследования

Образцы имели форму параллелепипеда с основанием 10x10 мм толщиной 4 мм, из стали «45». Микролуночки получены с использованием электродов W (вольфрама), АЛ9 (сплава алюминия), ВТ1-0 (сплава титана). Использовалась установка «Элитрон 22А» с амплитудой колебания электрода 100±10 Гц в воздушной среде. Энергия единичного разряда представлена в таблице.

Энергия единичного искрового разряда

Режим	1	2	3	4	5
Энергия, Дж	0,022	0,09	0,25	0,73	0,86

Микрофотографии микролунок получены на растровом электронно-зондовом микроскопе JSM-35С JEOL, разрешающая способность в режиме микроскопа составляет 60 Å. Изображения представляют двухмерные дискретные черно-белые изображения размером 256x256 пикселей. По

полученным изображениям рассчитывались периметр и площадь микролунок с использованием прикладной программы Matcad 14. Погрешность определения площадей и периметра границы не превышала $\pm 3\%$.

В качестве критерия оценки микролунки был предложен коэффициент формы K_ϕ численно равный:

$$K_\phi = \sqrt{S}/L, \quad (1)$$

где L – периметр микролунки, пиксель; S – площадь микролунки, пиксель.

Результаты и обсуждения

В выполненном исследовании выявлено, что микролунки можно классифицировать по форме границы следующим образом:

А) микролунка с гладким периметром границы – граница микролунки представляет собой почти правильную форму, приближающуюся к замкнутой, гладкой окружности (рис. 1.б);

Б) микролунка с извилистым периметром границы – микролунка имеет сильно изрезанную границу с образованием микростолбиков, вытянутых по касательной к поверхности (рис.1.а);

В) микролунка с размытой границей – не имеет четкой границы, отсутствует линия перехода от микролунки к основному материалу (рис.1.в).

Образования морфологически разных по объемной форме микролунок объясняются теплофизическими характеристиками материалов катода. Применение тугоплавких материалов типа вольфрама и карбида вольфрама приводит к образованию микролунок типа **Б**. Образование подобных микролунок характерно для материалов подложки, имеющей высокую теплопроводность. При взаимодействии расплавленной массы анода с подложкой в этом случае происходит выброс материала подложки с образованием микрократера.

Коэффициент формы микролунки определяет степень искривления границы микролунки за счет переохлаждения расплавленной массы эрозионной частицы [2].

Форма микролунок и степень развитости ее границ определяются соотношением теплосодержания эрозионной частицы, теплоемкостью и теплопроводностью подложки. Чем выше теплоемкость металла, тем больше он несет запас теплоты, и при возникновении контакта пытается передать этот запас более теплопроводному металлу. При осаждении легкоплавких металлов на подложке с меньшей теплопроводностью скорость теплообмена невысока, что приводит к образованию более развитой границы микролунки. При тугоплавких электродных материалах в формировании формы микролунок большую роль играет более теплопроводная подложка, успевающая в момент осаждения эрозионной частицы оплавиться и произвести выброс расплавленного материала.

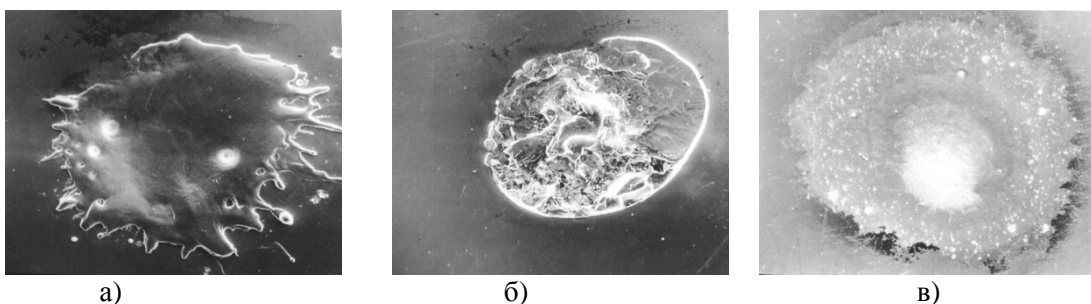


Рис. 1. Поверхность и поперечное сечение катода после единичного разряда:

а) катод сталь «45», анод W, энергия разряда 0,09 Дж x160; б) катод сталь «45», анод VT1-0, энергия разряда 0,86 Дж x400; в) катод сталь «45», анод VT1-0, энергия разряда 0,73 Дж x160.

Коэффициент формы микролунки дает количественную оценку формы микролунки, зависящей от условий ее образования. Из полученных значений видно, что для более легкоплавких металлов коэффициент K_{Φ} имеет меньшие значения, чем для тугоплавких.

Легкоплавкие металлы имеют при идентичных фазовых состояниях меньшую энтальпию по сравнению с тугоплавкими. Очевидно, энтальпия жидкокапельной частицы анодного массового потока $H = m(cT_{пл} + q_{пл})$ определяется удельной теплоемкостью материала c , массой частицы m и скрытой теплотой плавления $T_{пл}$. Следовательно, при осаждении эрозионной частицы в зоне контактного взаимодействия возникает тепловой источник, от которого тепло передается в глубь упрочняемой поверхности за счет теплопроводности.

Активное время действия теплового источника соответствует периоду затвердевания осажденной жидкокапельной эрозионной частицы. Температура упрочняемой поверхности под осаждаемой частицей определяется теплоемкостью, теплопроводностью и температурой плавления материала подложки, с повышением, которых скорость охлаждения эрозионной частицы увеличивается. Плотность теплового потока, отводимого вглубь за счет теплопроводности, определяется уравнением Фурье:

$$q_{mn} = \lambda \cdot gradT,$$

где λ – теплопроводность; $gradT$ – градиент температур, возникающих при искровом разряде.

Если активность теплового источника, возникающего при осаждении эрозионной частицы, превышает плотность теплового потока, отводимого из зоны взаимодействия за счет теплопроводности, то образуемая микролунка имеет более развитую форму и, следовательно, K_{Φ} примет тем большее значение, чем больше эта разница.

Образование морфологически разных форм микролунок при ЭИЛ и, соответственно, изменение коэффициента K_{Φ} коррелирует с параметрами искрового разряда. В частности, одним из параметров разряда является межэлектродный промежуток (МЭП). Построенная зависимость изменения K_{Φ} от межэлектродного промежутка (рис. 2) дает возможность говорить о преобладании вида источника тепла (плоского или объемного) и устойчивости канала разряда [3].

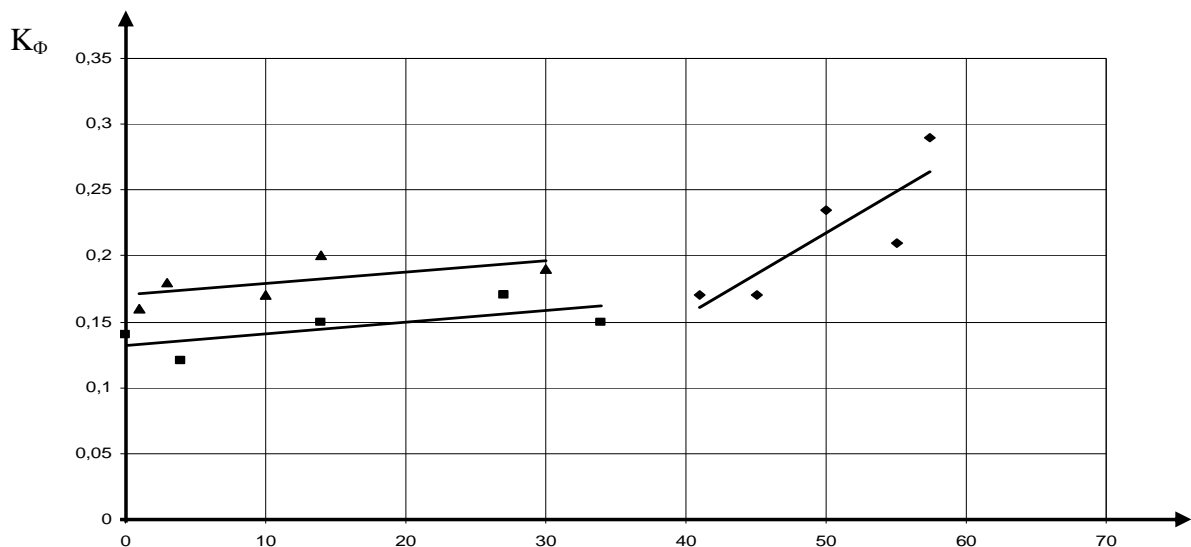


Рис. 2. Влияние межэлектродного зазора на коэффициент формообразования микролунки (катод – сталь «45») ■ – W, ▲ – Al9, ◆ – VT1-0.

Анализ зависимостей (рис. 2) и внешнего вида микролунки позволяет сделать вывод, что уменьшение значения K_{Φ} соответствует образованию более гладкой границы, а одновременно

происходит изменение текстуры поверхности, что отвечает изменению МЭП. При больших электродных промежутках идет формирование микролунок с границей, приближающейся к окружности. С уменьшением промежутка происходит образование извилистой границы, что свидетельствует о нестабильности разряда. Таким образом, коэффициент формы микролунки K_{Φ} свидетельствует о степени устойчивости канала разряда и равновесности происходящих процессов.

Увеличение площади поверхности границ системы при неизменном ее объеме усиливает диссипативный отток тепла в окружающую среду, что определяет или формирование развитой границы микролунок, или развитой объемной поверхности. В первом случае теплоотвод осуществляется через границу лунки, во втором – через поверхность микролунки.

Формирующаяся микролунка представляет собой отдельную систему, которая стремится преобразовать запасенную энергию в тепловую, рассеивая ее в окружающую среду через границу и поверхность микролунки. На основании вышеизложенного можно заключить, что граница микролунки представляет собой динамическую форму организации системы, диссипативная активность которой определяется коэффициентом формы микролунки K_{Φ} .

Выводы

Предложена классификация микролунок по геометрическим признакам – таким как форма границы микролунки. Установлено, что коэффициент формы K_{Φ} имеет тесную связь с морфологическими признаками микролунки и межэлектродным промежутком.

-
1. Верхотуров, А.Д. Формирование поверхностного слоя при ЭИЛ. – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 323 с.
 2. Галенко, П.К., Кривелев, М.Д. Изотермический рост кристаллов в переохлажденных бинарных сплавах // Математическое моделирование. – 2000. – Т. 12, № 11. – С. 15-37.
 2. Пячин, С.А., Пугачевский, М.А. Оценка толщины покрытия, осажденного на поверхность катода при однократном искровом разряде // Физика и химия обработки материалов. – 2008. – № 3. – С. 61-66.